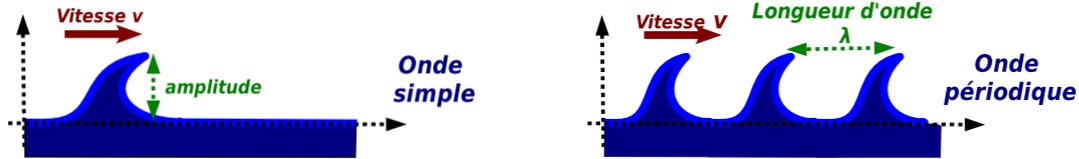


Chapitre 7 : Propagation de la lumière

1. Qu'est-ce qu'une onde ?



Définition :

Une onde est la **propagation** d'une **perturbation** qui transporte de l'énergie sans transporter de matière.

Exemples :

	Type d'onde	Type de perturbation
Ondes électromagnétiques (radio, lumière, UV, X, gamma)	Onde électromagnétique	Perturbation du champ magnétique et du champ électrique (une charge électrique et un aimant subissent une force quand une onde EM passe)
Son (dans l'eau, l'air, un solide)	Onde de « pression » (onde mécanique)	Modification locale de la pression
Séismes (tremblements de Terre)	Onde de « déplacement » (onde mécanique)	Déplacement du sol, dans 3 directions possibles
Vague sur l'eau	Onde de « déplacement vertical » Onde mécanique	Déplacement vertical de la surface de l'eau

Une onde se caractérise par :

- Sa vitesse de propagation dans le milieu (en m.s^{-1}) aussi appelée **célérité** ;
- Le type de la perturbation qui se propage (pression, déplacement, tension électrique,...) ;
- L'amplitude de la perturbation.

A RETENIR :

- Une onde peut être périodique, on définit alors sa période T (en s) et sa fréquence $f (= \frac{1}{T}$, en Hz).
- La vitesse de propagation d'une onde peut se déterminer par la relation suivante :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

v = vitesse de propagation de l'onde (en m.s^{-1})
 d = distance parcourue par l'onde (en m)
 Δt = durée du parcours (en s)

- On définit la **longueur d'onde λ** (en m) d'une onde comme égale à la distance parcourue par l'onde pendant la durée T :

$$\lambda = v \times T = \frac{v}{f}$$

v = vitesse de propagation de l'onde (en m.s^{-1})
 T = période de l'onde (en s)
 f = fréquence de l'onde (en Hz)

2. Les ondes électromagnétiques

2.1. Définition

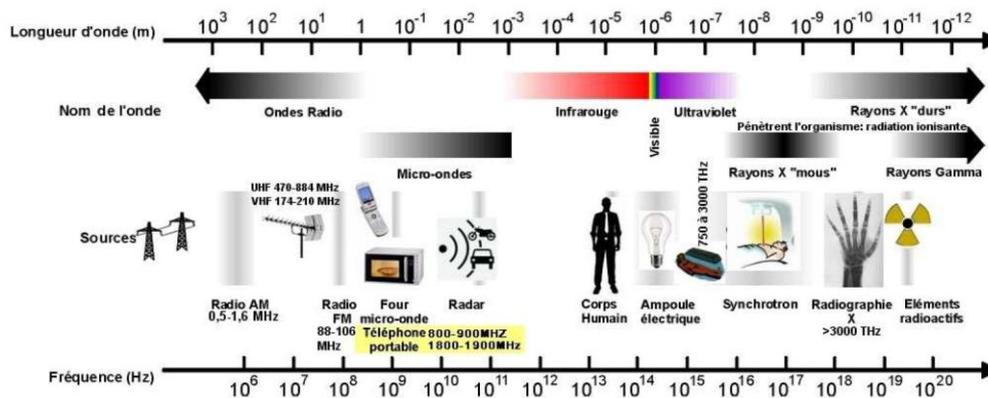
Définition :

Une onde électromagnétique est la **propagation** d'une perturbation électromagnétique (champ magnétique et du champ électrique) dans un milieu (modification de l'état des électrons dans les atomes).

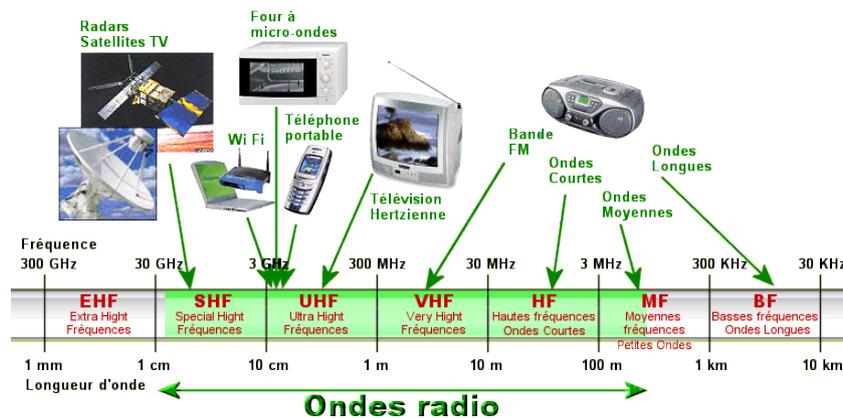
A RETENIR :

Une onde électromagnétique se propage dans tout milieu transparent et est absorbée par un milieu opaque.

2.2. Domaine de fréquences

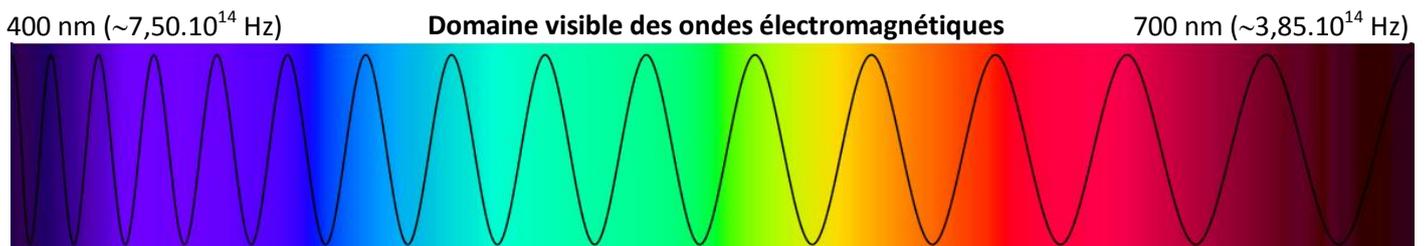


Exemple : les ondes radio



A RETENIR :

L'appareil visuel (œil) est un récepteur sensible à des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde (fréquences) sont comprises entre 400 nm (~7,50.10¹⁴ Hz, UV) et 700 nm (~3,85.10¹⁴ Hz, IR) environ. Ce domaine de fréquences s'appelle le **domaine visible**.



- Une lumière monochromatique est une lumière composée d'une seule fréquence (ou d'une seule longueur d'onde).

2.3. Vitesse de propagation de la lumière

La vitesse de propagation de la lumière (aussi appelée « célérité », du latin *celeritas*, « vitesse ») dans le vide est notée c et a pour valeur :

$$c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$$

A RETENIR :

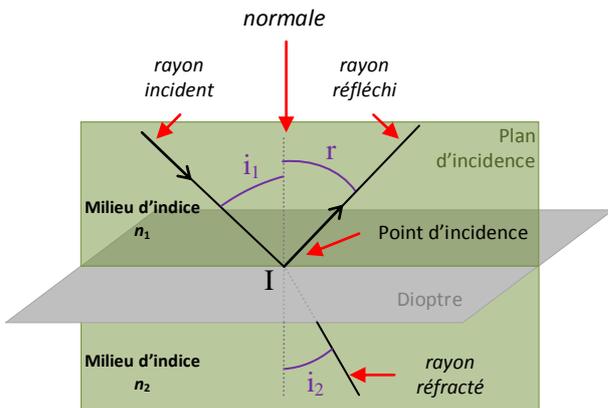
- Les ondes électromagnétiques se propagent toutes à la même vitesse ($c \approx 300\,000 \text{ km.s}^{-1} = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) dans le vide ;
- Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'air pratiquement à la même vitesse que dans le vide ;
- Dans les autres milieux matériels, la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est inférieure à c , elle dépend du milieu de propagation et de la fréquence des ondes :

Milieu	Vitesse de propagation
Air	$3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Eau	$2,26 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Verre	$2,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

- Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, une onde électromagnétique se propage en ligne droite.

2.4. Réflexion et réfraction de la lumière

Quand la lumière change de milieu de propagation, sa direction de propagation change aussi :



Lois de la réflexion :

- le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ;
- les angles incidents et réfléchis **sont égaux en valeurs absolues** :

$$i_1 = -r$$

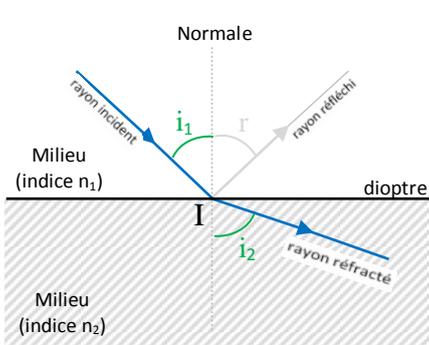
Lois de la réfraction :

- le rayon réfracté est dans le plan d'incidence ;
- les indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux et les angles incident i_1 et réfracté i_2 sont liés par la relation dite de Snell-Descartes :

$$n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$$

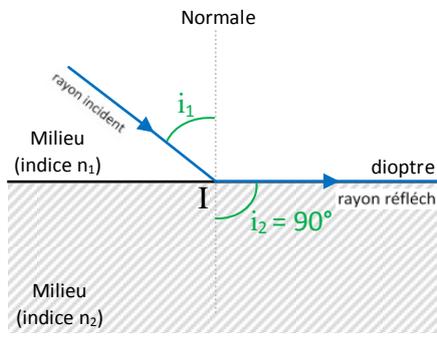
Cas particulier : $n_1 > n_2$

Dans ce cas particulier ($n_1 > n_2$), il existe un angle d'incidence, $i_{1\text{lim}}$ (appelé angle i_1 limite), au-delà duquel la lumière subit une réflexion totale sur la surface de séparation entre les 2 milieux (dioptré) :



$$i_1 < i_{1\text{lim}}$$

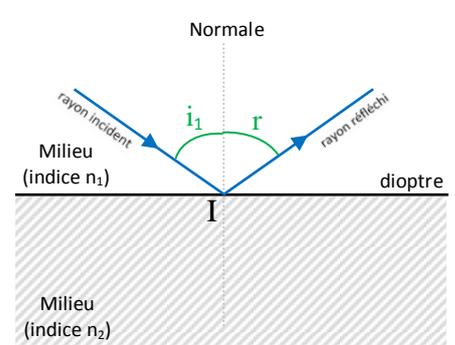
Réfraction (+ faible réflexion)



$$i_1 = i_{1\text{lim}} ;$$

$$\sin i_{1\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Réfraction limite



$$i_1 > i_{1\text{lim}}$$

Réflexion totale

3. Applications médicales

La radiographie

La radiographie utilise les rayons X qui ont la faculté de traverser le corps. Ces rayons vont rencontrer des tissus, des muscles ou encore des os : plus la densité du corps est importante, moins les rayons pourront le traverser l'image obtenue apparaîtra plus ou moins noire.



Les rayons X, après avoir traversé le corps humain, vont impressionner une plaque photographique (appelé « cliché ») :

- ils traversent facilement les tissus : le cliché sera sombre ;
- ils sont absorbés par les os : le cliché sera blanc.

Remarque : La **radioscopie** est une technique de radiographie avec visualisation en temps réel sur un écran d'une image pouvant être mobile (aussi appelée « **fluoroscopie** »).



Pour réaliser une radioscopie, on utilise un générateur de rayons X capable d'émettre des rayons X pendant plusieurs minutes de manière continue ou de manière pulsée (impulsion). L'image est acquise au moyen d'un amplificateur de brillance ou de certains capteurs capables de fonctionner en acquisition continue. Les images sont rapatriées en instantané vers un écran à partir duquel les opérateurs les analysent.

Table de radiologie avec système d'acquisition d'images fluoroscopique

Chapitre 7 : Propagation de la lumière

Les objectifs de connaissance :

- Connaître la valeur de la célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air ;
- Connaître les lois de Snell-Descartes.

Les objectifs de savoir-faire :

- Déterminer un indice de réfraction.

Je suis capable de

Oui Non

- Définir les mots : **onde, onde électromagnétique, vitesse de propagation d'une onde.**

- Représenter le domaine de fréquence du domaine visible des ondes électromagnétiques. (cf. §2.2)

- Donner la valeur de la vitesse de propagation (ou célérité) de la lumière dans le vide. (cf. §2.3)

- Énoncer les lois de la réflexion et de la réfraction (lois de Snell-Descartes). (cf. §2.4)

- Expliquer le principe d'une échographie, d'une fibroscopie, d'une radiographie et d'un scanner. (cf. §3)

Les ondes

Définition :

Une onde est la **propagation** d'une **perturbation** qui transporte de l'énergie sans transporter de matière.

Une onde se caractérise par :

- Sa vitesse de propagation dans le milieu (en m.s^{-1}) aussi appelée **célérité** ;

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

v = vitesse de propagation de l'onde (en m.s^{-1})
 d = distance parcourue par l'onde (en m)
 Δt = durée du parcours (en s)

- Si l'onde est périodique, alors on définit sa période T (en s) et sa fréquence F (en Hz). (cf. chapitre précédent)

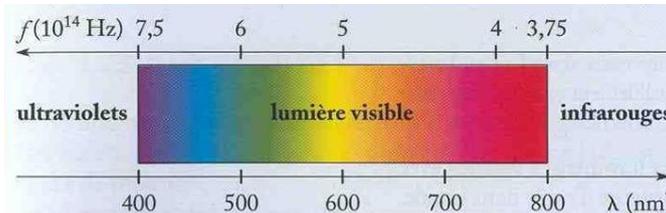
Les ondes électromagnétiques

Définition :

Une onde électromagnétique est la **propagation** d'une perturbation électromagnétique (champ magnétique et du champ électrique) dans un milieu (modification de l'état des électrons dans les atomes).

- ✚ Une onde électromagnétique se propage dans tout milieu transparent et est absorbée par un milieu opaque.
- ✚ Une lumière monochromatique est une lumière composée d'une seule fréquence.

Domaine de fréquences :



Vitesse de propagation de la lumière :

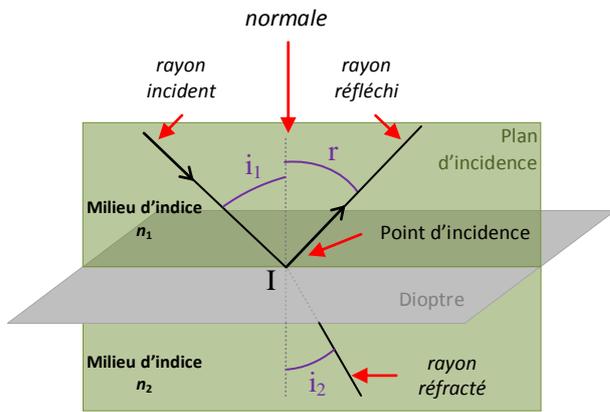
Les ondes électromagnétiques se propagent toutes à la même vitesse, aussi appelée « célérité » dans le vide, on la note c et elle a pour valeur :

$$c \approx 300\,000 \text{ km.s}^{-1} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

- ✚ Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'air pratiquement à la même vitesse que dans le vide ;
- ✚ Dans les autres milieux matériels, la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est inférieure à c ;
- ✚ Dans un milieu homogène et transparent, une onde électromagnétique se propage en ligne droite.

Réflexion et réfraction de la lumière

Quand la lumière change de milieu de propagation, sa direction de propagation change aussi :



Lois de la réflexion :

- le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ;
- les angles incidents et réfléchis **sont égaux en valeurs absolues** :

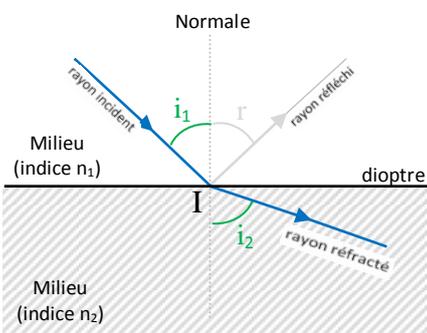
$$i_1 = -r$$

Lois de la réfraction :

- le rayon réfracté est dans le plan d'incidence ;
- les indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux et les angles incident i_1 et réfracté i_2 sont liés par la relation dite de Snell-Descartes :

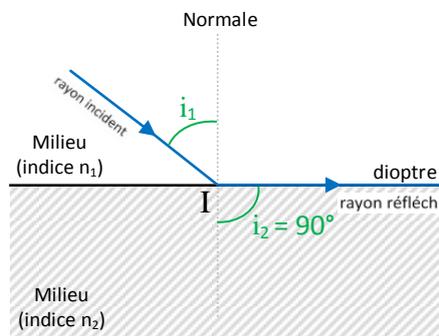
$$n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$$

Dans ce cas particulier où $n_1 > n_2$, il existe un angle d'incidence, $i_{1\text{lim}}$ (appelé angle i_1 limite), au-delà duquel la lumière subit une **réflexion totale** sur la surface de séparation entre les 2 milieux (dioptre) :



$$i_1 < i_{1\text{lim}}$$

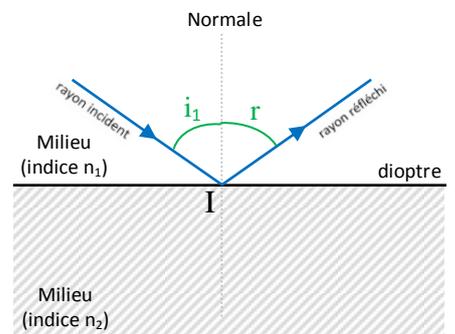
Réfraction (+ faible réflexion)



$$i_1 = i_{1\text{lim}} ;$$

$$\sin i_{1\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Réfraction limite



$$i_1 > i_{1\text{lim}}$$

Réflexion totale

Applications médicales

- La radiographie (rayonnements X) ;
- Fibroscopie- endoscopie (lumière visible) ;
- Le scanner (rayonnements X) ;
- IRMN (ondes radio + aimant très puissant).